

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 40 934.6

**Anmeldetag:** 10. August 2001

**Anmelder/Inhaber:** Gramm GmbH & Co KG,  
Ditzingen/DE

**Bezeichnung:** Vorrichtung und Verfahren zur galvanischen  
Oberflächenbehandlung von Werkstücken

**IPC:** C 25 D 17/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 01. August 2002  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Ebert**

# WITTE, WELLER & PARTNER

Patentanwälte

Rotebühlstraße 121 · D-70178 Stuttgart

Anmelder:

27. Juli 2001  
2235P101 SG-sp

Gramm GmbH & Co. KG  
Einsteinstraße 4  
D-71254 Ditzingen-Heimerdingen

Deutschland

Vorrichtung und Verfahren zur galvanischen  
Oberflächenbehandlung von Werkstücken

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur galvanischen Oberflächenbehandlung von Werkstücken, mit einer geschlossenen Prozeßkammer zur Aufnahme eines Werkstückes, die mindestens eine Zuführöffnung für die Zufuhr von Prozeßflüssigkeit und mindestens eine Abführöffnung für die Abfuhr von Prozeßflüssigkeit aufweist, wobei mindestens eine mit einer Stromquelle verbindbare Elektrode vorgesehen ist und das Werkstück als Gegenelektrode mit einer Stromquelle entgegengesetzter Polarität verbindbar ist, und mit Mitteln zum Erzeugen einer Strömung der Prozeßflüssigkeit durch die Prozeßkammer entlang einer zu behandelnden Behandlungsoberfläche des Werkstücks.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur galvanischen Oberflächenbehandlung von Werkstücken in einer geschlossenen Prozeßkammer.

Eine derartige Vorrichtung und ein derartiges Verfahren sind aus der EP 0 445 120 B1 bekannt.

Gemäß der bekannten Vorrichtung und gemäß dem bekannten Verfahren können ein oder mehrere Werkstücke in einer Prozeßkammer galvanisch behandelt werden.

Die Werkstücke werden in die Prozeßkammer eingesetzt und können durch die vorbeiströmende Prozeßflüssigkeit behandelt werden, die durch eine Saugpumpe in der von der Prozeßkammer abgehenden Leitung mit relativ hoher Geschwindigkeit gefördert werden kann. Dabei ist innerhalb der Prozeßkammer eine Rühreinrichtung vorgesehen, um eine möglichst gleichmäßige Behandlung der Werkstückoberfläche zu unterstützen.

Bei der galvanischen Behandlung von Großserienteilen, wie z.B. bei der Behandlung von Zylinderlaufflächen von Hubkolben-Brennkraftmaschinen, wird eine möglichst kurze Prozeßdauer gefordert und gleichzeitig eine hohe Qualität und Gleichmäßigkeit der behandelten Oberfläche vorausgesetzt.

Um die Prozeßdauer zu verkürzen und gleichzeitig eine möglichst gleichmäßige Qualität der behandelten Oberfläche zu gewährleisten, wurde versucht, die Prozeßflüssigkeit in einer geschlossenen Prozeßkammer mit hoher Turbulenz an der zu behandelnden Oberfläche vorbeizuführen.

Gemäß der DE 37 42 602 C2 wird hierzu ein Elektrolyt mit den anzulagernden Festkörperpartikeln über die zu beschichtenden Flächen am Außenumfang einer zentral in der Zylinderachse angeordneten Anode geleitet und ein Elektrolyt mit Hilfe eines drallerzeugenden Strömungskörpers in den Zylinder eingeleitet, wobei sich die Strömung in einen laminaren und einen turbulenten Anteil aufteilt.

Hierbei hat es sich als nachteilig erwiesen, daß sich trotz der erzeugten Turbulenz im Verlaufe der zu beschichtenden Zylinderbohrungen unterschiedliche Schichtstärken ergeben.

Gemäß der DE 31 31 367 A1, die eine Vorrichtung und ein Verfahren anderer Gattung als eingangs erwähnt betrifft, werden formbildende Metallwerkzeuge galvanoplastisch hergestellt. Dabei wird ein Elektrolytstrom in einen Spalt zwischen Modell und Elektrode gefördert und das Metall auf dem Modell galvanisch abgeschieden. Die Metallabscheidung erfolgt in einem stark verwirbelten Elektrolytstrom bei relativ hohen Stromdichten in einem Abstand von etwa 10 bis 100 mm zwischen Modell und Elektrode. Dabei wird die Elektrolytflüssigkeit über eine Vielzahl von zueinander parallelen Rohren in die Prozeßkammer zugeführt und tritt über einen Spalt am oberen Ende des zu beschichtenden Modells in das offene Galvanikbad aus. Um eine bessere Gleichmäßigkeit der Beschichtung zu erreichen und um das Dendritenwachstum zu verringern, wird der Abstand zwischen Modell und Elektrode dabei mehrfach verringert, während die Elektrolytförderung unterbrochen wird und die Stromrichtung umgepolt wird. In diesen kurzen Rückstromimpulsen findet eine selektive Auflösung von Dendriten auf dem Modell statt, wobei gleichzei-

tig ein Dickenausgleich der abgeschiedenen Metallschicht stattfindet.

Ein derartiges Verfahren und eine derartige Vorrichtung sind zwar geeignet, um die Oberflächenbeschaffenheit und Gleichmäßigkeit der galvanisch abgeschiedenen Schicht zu verbessern, sind jedoch nicht zur Behandlung von Großserienteilen geeignet, bei denen kurze Taktzeiten notwendig sind.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur galvanischen Oberflächenbehandlung von Werkstücken in einer geschlossenen Prozeßkammer zu schaffen, womit eine gleichmäßige Oberflächenbehandlung auch bei hohen Stromdichten und hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Prozeßflüssigkeit ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung gemäß der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß eine Mehrzahl von Zuführöffnungen und eine Mehrzahl von Abführöffnungen von der Behandlungsoberfläche beabstandet angeordnet ist, wobei jeweils eine Abführöffnung und eine Zuführöffnung zueinander benachbart sind oder mehrere Gruppen von Abführöffnungen benachbart zu mehreren Gruppen von Zuführöffnungen angeordnet ist.

Die Aufgabe der Erfindung wird ferner durch ein Verfahren zur galvanischen Oberflächenbehandlung von Werkstücken in einer geschlossenen Prozeßkammer gelöst, bei dem auf einer zu behandelnden Behandlungsoberfläche des Werkstückes ein Metallüberzug abgeschieden wird oder das Werkstück an der Behandlungsoberfläche anodisch oxidiert wird, mit folgenden Schritten:

- Einspannen des Werkzeuges in einer Vorrichtung, um eine geschlossene Prozeßkammer zu bilden, die von Prozeßflüssigkeit durchströmbar ist;
- Kontaktieren des Werkstückes und Verbinden mit einer Gleichspannungsquelle;
- Anordnen einer Elektrode im Abstand vom Werkstück und Verbinden mit einem entgegengesetzten Pol der Gleichspannungsquelle;
- Zuführen der Prozeßflüssigkeit in die Prozeßkammer durch eine Mehrzahl von von der Behandlungsoberfläche beabstandete Zuführöffnungen;
- Abführen der Prozeßflüssigkeit aus der Prozeßkammer über eine Mehrzahl von Abführöffnungen, die jeweils den Zuführöffnungen benachbart sind, oder wobei mehrere Gruppen von Abführöffnungen benachbart zu mehreren Gruppen von Zuführöffnungen angeordnet sind.

Die Aufgabe der Erfindung wird auf diese Weise vollkommen gelöst.

Erfindungsgemäß wurde nämlich erkannt, daß zur Gewährleistung kurzer Prozeßzeiten mit hohen Stromdichten und Strömungsgeschwindigkeiten die Prozeßflüssigkeit in unmittelbarer Nähe der zu behandelnden Oberfläche des Werkstückes zugeführt und in unmittelbarer Nachbarschaft davon wieder abgeführt werden muß. Hierdurch kann ein ideal homogenes Strömungsprofil bei nahezu unbegrenzt steigerbarer Reynoldszahl erreicht werden, ohne die

sonst bei Prallströmung üblichen Profile zu erhalten, die immer mit dem Problem des Staudruckes behaftet sind. Gleichzeitig wird eine optimale Verwirbelung und Abführung der sich bildenden Prozeßgase ermöglicht, was gleichfalls zur Verbesserung der Oberflächenqualität beiträgt.

Ferner werden lokale Veränderungen der Prozeßflüssigkeit, der Temperatur, der Dichte usw. vermieden, wodurch eine gleichmäßige Behandlung der gesamten Behandlungsoberfläche erreicht wird.

Idealerweise kann eine große Anzahl von Zuführöffnungen und Abführöffnungen jeweils unmittelbar nebeneinander gegenüber der zu behandelnden Behandlungsoberfläche des Werkstückes angeordnet werden. Zur Behandlung einer größeren Fläche können die Zuführ- und Abführöffnungen für die Prozeßflüssigkeit rasterartig verteilt gegenüber der Behandlungsoberfläche münden.

Wird eine größere Anzahl von Zuführ- und Abführöffnungen verwendet, so können gegebenenfalls auch jeweils Gruppen von Abführöffnungen abwechselnd mit Gruppen von Zuführöffnungen angeordnet sein, obwohl eine abwechselnde Anordnung einzelner Zuführ- und Abführöffnungen im allgemeinen bevorzugt ist.

Die Zuführ- bzw. Abführöffnungen weisen bevorzugt einen kreisförmigen Querschnitt auf. Für Sonderfälle können diese jedoch auch einen elliptischen, einen ovalen oder einen anders geformten Querschnitt besitzen.

Für die Behandlung größerer Oberflächen bietet sich die abwechselnde Anordnung von schlitzförmigen Zuführ- und Abführöffnungen gegenüber der Behandlungsoberfläche an.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist die Elektrode als Teil eines langgestreckten Hohlkörpers ausgebildet, der mindestens einen Zuführkanal sowie mindestens einen Abführkanal aufweist, wobei der Zuführkanal eine Mehrzahl von Zuführöffnungen aufweist, denen jeweils Abführöffnungen am Abführkanal zugeordnet sind.

Mit einer derartigen Anordnung lassen sich insbesondere Innenoberflächen an Werkstücken, wie z.B. Zylinderlaufkammern, galvanisch behandeln. Anstelle der herkömmlichen Durchströmung eines Ringspaltes zwischen einer zu behandelnden Bohrung und einem darin angeordneten Kern wird es nunmehr ermöglicht, beliebig lange Bohrungen und teilweise in ihrer Längsrichtung gekrümmte Ausnehmungen an Werkstücken gleichmäßig galvanisch zu behandeln, da die jeweils über eine Zuführöffnung zugeführte Prozeßflüssigkeit über eine zugeordnete Abführöffnung abgeführt wird. Je nach Anzahl der verwendeten Zuführ- und Abführöffnungen wird so der langgestreckte, lanzenartige Hohlkörper in Richtung seiner Längserstreckung in eine Vielzahl von hintereinander angeordneten virtuellen Scheiben segmentiert, die jeweils eigene Zuführ- und Abführöffnungen aufweisen.

Somit werden lokale Veränderungen der Zusammensetzung der Prozeßflüssigkeit, der Temperatur, der Dichte und dergleichen vermieden und gleichzeitig eine optimale Verwirbelung und Abführung der sich bildenden Gase ermöglicht. Auf diese Weise lassen sich auch an langgestreckten Innenoberflächen von Werkstücken äußerst gleichmäßige Oberflächenschichten mit hoher Qualität erzielen.



Gemäß einer Weiterbildung dieser Ausführung bildet die Elektrode eine Trennwand zwischen einem Zuführkanal und einem Abführkanal.

Diese Maßnahme hat den Vorteil, daß die notwendige Aufteilung des langgestreckten Hohlraums in mindestens einen Zuführ- und einen Abführkanal auf besonders einfache Weise gewährleistet wird, wobei gleichzeitig die Elektrode in einem gewissen Abstand (durch einen umgebenden Mantel getrennt) von der eigentlichen Prozeßkammer angeordnet ist. Da sich Prozeßgase während der galvanischen Behandlung insbesondere an der Elektrode bilden, werden diese teilweise unmittelbar abgeführt, ohne daß diese überhaupt in die eigentliche Behandlungskammer gelangen können.

Diese Maßnahme kann noch dadurch unterstützt werden, daß zwischen den Zuführkanälen und den Abführkanälen Gasdurchlässe gebildet sind. Beispielsweise kann die als Trennwand ausgebildete Elektrode mit einer dünnen Perforierung versehen sein. Hierdurch werden im Bereich der Zuführöffnung entstehende Gase unmittelbar durch den Sog im benachbarten Abführkanal mit abgeführt, wodurch eine besonders wirkungsvolle Abfuhr der Prozeßgase gewährleistet ist, was zu einer verbesserten Oberflächenbeschaffenheit der behandelten Oberfläche führt und gleichzeitig höhere Stromdichten und damit kürzere Prozeßzeiten ermöglicht.

Der Hohlkörper ist in bevorzugter Weiterbildung von einem Mantel aus einem Isoliermaterial umschlossen.

Hierdurch ist die Elektrode, wie vorstehend bereits erwähnt, räumlich beabstandet von der eigentlichen Prozeßkammer angeordnet, wodurch entstehende Gase besser abgeführt werden können.

Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung ist zum Zwecke der Behandlung von Außenoberflächen an Werkstücken entlang einer Innenoberfläche der Prozeßkammer eine Mehrzahl von Abführ- und Zuführöffnungen gegenüber der Behandlungsoberfläche jeweils abwechselnd nebeneinander angeordnet.

In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung sind die Zuführöffnungen und die Abführöffnungen jeweils an der Mündung von zugeordneten Zuführ- bzw. Abführkanälen ausgebildet.

Hierdurch können die einzelnen Kanäle gerichtet ausgeführt werden, so daß insbesondere der ausströmenden Prozeßflüssigkeit eine bestimmte Strömungsrichtung aufgeprägt werden kann, um die Oberflächenbehandlung so zu optimieren.


Gemäß einer Weiterbildung dieser Ausführung stehen die Zuführkanäle mit mindestens einem Zuführverteilerkanal in Verbindung, während die Abführkanäle gleichfalls mit mindestens einem Abführverteilerkanal in Verbindung stehen können.

Auf diese Weise läßt sich eine große Anzahl von Zuführ- bzw. Abführkanälen auf relativ kostengünstige Weise verwirklichen.

Auch bei dieser Ausführung, die insbesondere für eine Beschichtung einer Außenoberfläche eines Werkstückes geeignet ist, kann sich die Elektrode außerhalb der Prozeßkammer in einem von den Zuführ- bzw. Abführöffnungen entfernten Bereich befinden.


Hierdurch können die Prozeßgase wirkungsvoll abgeführt werden, wodurch die Qualität der Oberflächenbehandlung erheblich verbessert wird und gleichzeitig noch höhere Stromdichten erreicht werden können.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung mündet zumindest ein Teil der Zuführkanäle in bezug auf die Behandlungsoberfläche in einem von  $90^\circ$  abweichenden Winkel aus.



Durch diese Maßnahme kann der austretenden Prozeßflüssigkeit eine bestimmte Richtung aufgeprägt werden, um so bei bestimmten geometrischen Bedingungen eine Optimierung der Behandlung zu ermöglichen.

Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung ist zumindest ein Teil der Abführkanäle in einem von zugeordneten Zuführkanälen abweichenden Winkel von der Behandlungsoberfläche weggeführt.



Auch hierdurch können die Strömungsbedingungen der Prozeßflüssigkeit besonders an geometrische Randbedingungen der Behandlungsoberfläche des Werkstückes angepaßt werden.

Während sich etwa bei ringförmigen Außenoberflächen von Werkstücken eine Einmündung der Zuführkanäle mit einem spitzen Winkel in bezug auf die Behandlungsoberfläche als besonders vorteilhaft erwiesen hat, können hierbei die Abführkanäle vorzugsweise rechtwinklig von der Behandlungsoberfläche weggeführt sein, um so eine Strömungsrichtung über einen kurzen Weg entlang der Behandlungsoberfläche ausgehend vom Zuführkanal bis hin zum benachbarten Abführkanal zu unterstützen. Somit ergibt

sich eine gewisse Drallwirkung in Umfangsrichtung des zu behandelnden Werkstückes.

Selbstverständlich können diese Maßnahmen auch bei der Behandlung von Innenoberflächen von Werkstücken vorteilhaft eingesetzt werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist vorzugsweise eine mindestens zweiteilige Form mit einem ersten Spannteil und einem zweiten Spannteil auf, die gegeneinander verspannbar sind, um das Werkstück in einem Hohlraum aufzunehmen und zusammen mit einer Werkstückfläche die Prozeßkammer zu bilden.

Auf diese Weise kann eine automatische Bestückung der Prozeßkammer mit einem Werkstück durch eine geeignete Handlingeinrichtung ermöglicht werden.

Soll die Außenoberfläche eines Werkstückes behandelt werden, so ist in vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung eine die zu behandelnde Außenoberfläche des Werkstückes umschließende Maske vorgesehen, in der die Zuführ- und Abführkanäle ausgebildet sind, wobei die Prozeßkammer zwischen einer Innenkontur der Maske, der Außenoberfläche des Werkstückes und den beiden Spannteilen gebildet ist.

Auf diese Weise kann das Volumen der Prozeßkammer möglichst niedrig gehalten werden, was sich vorteilhaft auf die Gleichmäßigkeit der Behandlung auswirkt.

Hierbei kann die Maske gleichzeitig die Elektrode bilden.

Zur Abdichtung der Prozeßkammer nach außen sind zweckmäßigerweise Dichtmittel an der Prozeßkammer vorgesehen.

Die Mittel zum Erzeugen der Strömung durch die Prozeßkammer weisen vorzugsweise eine Saugpumpe auf, die stromabwärts der Prozeßkammer angeordnet ist.

Durch diese Maßnahme werden in der Prozeßkammer wie auch in den Zuführ- bzw. Abführkanälen entstehende Gase besser abgeführt. Gleichzeitig ergibt sich der Vorteil, daß die Vorrichtung mit einem gewissen Unterdruck relativ zum Umgebungsdruck betrieben werden kann, so daß einem Austreten von Prozeßflüssigkeit entgegengewirkt wird.

In alternativer Ausführung oder zusätzlicher Ausführung ist es auch denkbar, daß die Mittel zum Erzeugen der Strömung eine Druckpumpe aufweisen, die stromaufwärts der Prozeßkammer angeordnet ist.

Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

- Fig. 1 eine stark vereinfachte geschnittene Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die zur Erläuterung des Grundprinzips der Erfindung dient;
- Fig. 2 eine abgewandelte Ausführung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in geschnittener Darstellung, die zur Behandlung einer Innenoberfläche eines Werkstückes dient;
- Fig. 3 einen Querschnitt durch den länglichen Hohlkörper oder die Lanze, die gemäß Fig. 2 in das Zentrum der Prozeßkammer hineinragt;
- Fig. 4 eine weitere Ausführung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die insbesondere zur Behandlung einer Außenoberfläche eines Werkstückes geeignet ist; und
- Fig. 5 eine Abwandlung der Ausführung gemäß Fig. 4, bei der lediglich eine Maske in der Aufsicht gezeigt ist, in der die einzelnen Zuführ- und Abführkanäle angedeutet sind.

In Fig. 1 ist eine erste, besonders einfache Ausführung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, anhand derer zunächst das Grundprinzip der Erfindung erläutert werden soll, insgesamt mit der Ziffer 10 bezeichnet.

Die Vorrichtung 10 weist ein erstes, unteres Spannteil 16 und ein zweites, oberes Spannteil 18 auf, zwischen denen ein Werkstück 12 einspannbar ist, wozu eines der beiden Spannteile 16,

18 in bezug auf das andere Spannteil bewegbar angeordnet ist (vgl. Pfeil 34).

Das zu behandelnde Werkstück 12 ist der Einfachheit halber lediglich als quaderförmiges Werkstück mit einer ebenen zu behandelnden Oberfläche, der Behandlungsoberfläche 14, ausgebildet. Oberhalb der Behandlungsoberfläche 14 befindet sich eine Prozeßkammer 20, die als Hohlraum im oberen Spannteil 18 ausgebildet ist, der nach unten durch die Behandlungsoberfläche 14 des Werkstückes 12 begrenzt ist.

Zur elektrischen Kontaktierung des Werkstückes 12 dient ein Anschlußkontakt 36 im unteren Spannteil 18, das über eine Leitung 38 mit einer Gleichspannungsquelle verbindbar ist. Die Deckfläche der Behandlungskammer 20 ist als Elektrode 40 ausgebildet, die über eine Leitung 42 an den anderen Pol der (nicht dargestellten) Gleichspannungsquelle anschließbar ist.

In die Deckfläche der Behandlungskammer 20 mündet eine Vielzahl von Zuführkanälen 24 bzw. Abführkanälen 28 jeweils über Zuführöffnungen 22 bzw. Abführöffnungen 26 ein.

Dabei ist jeweils eine Zuführöffnung 22 benachbart zu einer Abführöffnung 26 angeordnet.

Soweit es sich um ein schmales, längliches Werkstück handelt, könnte lediglich, wie in der dargestellten Weise, eine Folge von Zuführrohren und Abführrohren nebeneinander angeordnet sein. Bei einer größeren Fläche des Werkstückes 12 könnte jedoch eine Vielzahl von Zuführ- und Abführöffnungen rasterartig verteilt in der Deckenfläche der Prozeßkammer 20 angeordnet

sein, wobei jeweils ein Zuführkanal 24 zu einem oder mehreren Abführkanälen 28 benachbart angeordnet ist. Dabei können verschiedene Rasteraufteilungen verwendet werden.

Gleichermaßen ist es möglich, bei der Verwendung einer Vielzahl von kleinen Zuführ- und Abführkanälen auch einen einzelnen Zuführkanal durch eine Gruppe von kleineren Zuführkanälen zu ersetzen, so daß jeweils mehrere Gruppen von Abführöffnungen jeweils benachbart zu mehreren Gruppen von Zuführöffnungen angeordnet sind.

Einfacher ist es jedoch, zur Behandlung von größeren Behandlungsoberflächen 14 die Zuführ- bzw. Abführkanäle 24, 28 schlitzförmig auszubilden, so daß jeweils ein Zuführschlitz zu einem Abführschlitz benachbart angeordnet ist.

Die einzelnen Zuführ- und Abführkanäle 24, 28 sind in nicht näher dargestellter Weise an einen Kreislauf für eine Prozeßflüssigkeit angeschlossen, wodurch die Prozeßflüssigkeit während des Galvanikprozesses mit einer relativ großen Geschwindigkeit, wie durch die Pfeile 30, 32 angedeutet, in die Prozeßkammer 20 in Richtung auf die Behandlungsoberfläche 14 austritt und jeweils über einen benachbarten Abführkanal 28 wieder austritt.

Auf die Darstellung von Dichtungen und dergleichen zur Bildung einer nach außen abgedichteten Prozeßkammer 20 wurde der Einfachheit halber verzichtet.



Durch die spezielle Anordnung benachbarter Zuführ- bzw. Abführöffnungen 22, 26 wird während der Galvanikbehandlung eine äußerst gleichmäßige Oberflächenbehandlung erreicht, da eine optimale Verwirbelung und Abführung der sich bildenden Prozeßgase ermöglicht wird und gleichzeitig ein ideal homogenes Strömungsprofil mit nahezu unbegrenzt steigerbarer Reynoldszahl ermöglicht wird, ohne die typischen Prallströmungsprofile zu erhalten.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß durch den schnellen Austausch der Prozeßflüssigkeit eine hohe Gleichmäßigkeit der Prozeßparameter, wie die chemische Zusammensetzung der Prozeßflüssigkeit, deren Dissoziationsgrad, der Dichte, der Temperatur usw. gewährleistet ist.

Auch dadurch wird die Gleichmäßigkeit und Qualität der Behandlungsoberfläche verbessert.

Die Vorteile der Erfindung werden unabhängig von der Art des durchzuführenden Galvanikprozesses erreicht.

Wird das Werkstück als Kathode geschaltet, also mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle verbunden, während die Elektrode als Anode geschaltet wird, so wird bei Verwendung eines geeigneten Elektrolyten als Prozeßflüssigkeit auf der Behandlungsoberfläche ein metallischer Überzug abgeschieden, da sich das betreffende in der Prozeßflüssigkeit (dem Elektrolyten) zugeetzte Metallsalz im Elektrolyten dissoziiert und die positiv geladenen Metallionen zur Kathode wandern und dort abgeschieden werden.

Wird dagegen das Werkstück als Anode geschaltet und die Elektrode als Kathode, so handelt es sich um den klassischen Prozeß der anodischen Oxidation, also der elektrolytischen Herstellung von oxidischen Schutzschichten auf Metallen. Dieser Vorgang, der im Zusammenhang mit der Behandlung von Aluminium weit verbreitet ist und in diesem Zusammenhang auch als Eloxieren bezeichnet wird, führt bei der Behandlung von Aluminium zur Erzeugung von Aluminiumoxid auf der Behandlungsoberfläche, das als wirksame Schutzschicht dient.

Die in Fig. 1 dargestellte Polarität, bei der das Werkstück 12 als Anode geschaltet ist und die Elektrode 40 als Kathode geschaltet ist, betrifft also gerade das Eloxieren oder Anodisieren der Behandlungsoberfläche eines Werkstückes 12 aus Aluminium.

In Fig. 2 ist eine Abwandlung der erfindungsgemäßen Vorrichtung im Längsschnitt dargestellt und insgesamt mit der Ziffer 100 bezeichnet.

Diese Ausführung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn ein Werkstück 112 an einer Innenoberfläche 114 behandelt werden soll, wobei es sich beispielsweise um eine Zylinderbohrung handeln könnte, die etwa mit einer dünnen Eisenschicht galvanisch beschichtet werden soll.

Während bei der Behandlung einer Außenoberfläche gemäß Fig. 1 beliebig viele Zuführ- und Abführleitungen vorgesehen werden können, die ja unmittelbar in die Prozeßkammer münden können, sind bei der Behandlung einer Innenoberfläche eines Werkstückes weitere Maßnahmen zweckmäßig, um die Prozeßflüssigkeit bis in

die Nähe der Behandlungsoberfläche zu transportieren, über Zuführöffnungen austreten zu lassen und über Abführöffnungen, die in unmittelbarer Nähe angeordnet sind, wieder abzuführen.

Hierzu ist ein länglicher Hohlkörper 141 oder eine Lanze vorgesehen, die in den zu behandelnden Hohlraum des Werkstückes 112 hineingeführt wird und deren Außenkontur der zu behandelnden Innenoberfläche 114 des Werkstückes 112 angepaßt ist.

Während im dargestellten Beispiel gemäß Fig. 2 die Behandlungsoberfläche 114 des Werkstückes 112 als zylindrische Innenoberfläche ausgebildet ist und demzufolge die Lanze 141 als Zylinder ausgebildet ist, der unter Wahrung eines gleichmäßigen Abstandes zur zylindrischen Behandlungsoberfläche 114 in bezug auf das Werkstück 112 angeordnet ist, ist auch die Behandlung anders geformter Innenoberflächen von Werkstücken denkbar.

So könnte es sich bei der Behandlungsoberfläche des Werkstückes beispielsweise um eine gekrümmte Innenoberfläche handeln, wozu dann die Lanze 141 in entsprechender Weise gekrümmt auszubilden wäre.

Beim dargestellten Beispiel gemäß Fig. 2 ist das Werkstück 112 jedoch zylindrisch ausgebildet und ist von einer zentralen Bohrung durchsetzt, deren Innenoberfläche die zu behandelnde Behandlungsoberfläche 114 bildet.

Das Werkstück 112 wird zwischen einem ersten unteren Spannteil 116 und einem zweiten oberen Spannteil 118 fest eingespannt, wobei Dichtungsringe 146 bzw. 148 zur Erzeugung einer nach außen abgedichteten Prozeßkammer 120 dienen. Die beiden Spann-

teile 116, 118 sind zur Einspannung und Entnahme des Werkstücks 112 relativ zueinander beweglich, wie durch den Doppelpfeil 134 angedeutet ist.

Durch das untere Spannteil 116 ragt die Lanze 141 in die Prozeßkammer 120 hinein und schließt vorzugsweise mit der Begrenzungsfläche des oberen Spannteils 118 ab. Auf diese Weise wird zwischen der Lanze 141 und der Behandlungsoberfläche 114 des Werkstückes 12 eine hohlzylindrische Prozeßkammer 120 gebildet, die unten und oben durch die Oberflächen der Spannteile 116, 118 begrenzt ist, nach außen hin durch die Behandlungsoberfläche 114 des Werkstücks 112 und nach innen hin durch die Zylindermantelfläche der Lanze 141.

Zur Kontaktierung des Werkstückes 112 ist in dem ansonsten isolierend ausgeführten unteren Spannteil 116 ein Anschlußkontakt 136 vorgesehen, der über eine Leitung 138 z.B. mit einem Minuspol einer Gleichspannungsquelle verbunden werden kann, sofern eine galvanische Beschichtung der Behandlungsoberfläche 114 durchgeführt werden soll.

Die Elektrode 140 ist als rechteckförmige Platte ausgebildet, die sich über die gesamte Länge der Lanze 141 und den Innenraum der Lanze 141 so in einen Abführkanal 128 und in einen Zuführkanal 124 aufteilt. Die Wand 143 der Lanze 141 besteht aus einem isolierenden Material, das natürlich gegenüber der Prozeßflüssigkeit ausreichend chemisch beständig sein muß. Die Elektrode 140 ist im dargestellten Fall über eine Leitung 142 mit dem Pluspol der Gleichspannungsquelle verbunden.

Wie aus Fig. 2 und der zugehörigen Fig. 3 (nicht maßstabsgerecht) ersichtlich, sind in der Wand 143 der Lanze 141 eine Vielzahl von Zuführöffnungen 122 und Abführöffnungen 126 angeordnet.

Hierbei ist die Wand 143 der Lanze 141 auf der Seite des Zuführkanals 124 in Richtung ihrer Längserstreckung in gleichmäßigen Abständen voneinander jeweils mit mindestens einer Zuführöffnung 122 versehen.

In entsprechender Weise ist auf der gegenüberliegenden Seite der Wand 143 im Bereich des Abführkanals 128 jeweils eine zugeordnete Abführöffnung 126 vorgesehen.

Auf diese Weise befinden sich im dargestellten Ausführungsbeispiel, wie aus Fig. 2 zu ersehen, zumindest zehn Zuführöffnungen 122 in gleichmäßigen Abständen in Axialrichtung der Lanze 141 hintereinander, während auf der gegenüberliegenden Seite, also vorzugsweise um  $180^\circ$  um die Längsachse der Lanze 141 versetzt, jeweils eine zugeordnete Abführöffnung 126 vorgesehen ist.

Wie aus Fig. 3 zu ersehen ist, ist es jedoch bevorzugt, an den betreffenden Axialpositionen der Lanze 141 nicht nur jeweils eine Zuführöffnung 122, die mit dem Zuführkanal 124 verbunden ist, und eine gegenüberliegende Abführöffnung 126, die mit dem Abführkanal 128 verbunden ist, vorzusehen, sondern statt dessen die Wand 143 mit einer Mehrzahl von Zuführöffnungen 122 auf der Seite des Zuführkanals 124 zu versehen und gleichfalls mit einer Mehrzahl von Abführöffnungen 126 auf der Seite des Abführkanals 128.

Auf diese Weise befinden sich in gleichmäßigen Axialabständen entlang der Lanze 141 jeweils eine Mehrzahl von Zuführöffnungen 122, die vorzugsweise um gleichmäßige Winkelabstände zueinander versetzt sind und denen auf der jeweils gegenüberliegenden Seite der Lanze 141 entsprechende Abführöffnungen 126 zugeordnet sind.

Auf diese Weise ist die Lanze 141 entlang ihrer Axialrichtung in einzelne scheibenartige Bereiche eingeteilt, die jeweils mit Zuführöffnungen 122 auf der einen Seite und mit Abführöffnungen 126 auf der gegenüberliegenden Seite versehen sind.

Somit kann unabhängig von der axialen Ausdehnung der Behandlungsoberfläche 114 ein gleichmäßiger Zutritt von Prozeßflüssigkeit und eine gleichmäßige Abführung von Prozeßflüssigkeit über die gesamte Axialerstreckung der Behandlungsoberfläche 114 gewährleistet werden.

Während des Betriebes wird die Prozeßflüssigkeit in Richtung des Pfeiles 132 über den Zuführkanal 124 zugeführt und tritt durch die Zuführöffnungen 122, die die Wand 143 auf der Seite des Zuführkanals 124 siebartig durchsetzen, in die Prozeßkammer 120 aus und umströmt die Behandlungsoberfläche 114 in tangentialer Richtung, bis sie auf der gegenüberliegenden Seite jeweils wieder durch die zugeordneten Abführöffnungen 126 in den Abführkanal 128 eintritt, aus dem sie in Richtung des Pfeiles 133 abgeführt wird.

Die Prozeßflüssigkeit selbst durchläuft einen geschlossenen Kreislauf, der in Fig. 2 nicht dargestellt ist und der eine Saugpumpe umfaßt, um die Prozeßflüssigkeit mit hoher Geschwin-

digkeit durch den Zuführkanal 124, die Prozeßkammer 120 und den Abführkanal 128 hindurchzusaugen.

Zusätzlich kann die Elektrode 140 noch von dünnen Gasdurchlaßöffnungen 130 durchsetzt sein, wie dies in den Fig. 2 und 3 dargestellt ist.

Durch diese Gasdurchlaßöffnungen 130 können Prozeßgase, die sich insbesondere im Bereich der Elektrode 140 bilden, unmittelbar aus dem Zuführkanal 124 in den Abführkanal 128 übertreten und zusammen mit der Prozeßflüssigkeit daraus abgeführt werden, ohne daß die Prozeßgase in die eigentliche Prozeßkammer 120 gelangen und so die Oberflächenbehandlung nachteilig beeinflussen können. Da der Querschnitt dieser Gasdurchlaßöffnungen 130 im Vergleich zum Querschnitt der Zuführöffnungen 122 und der Abführöffnungen 126 gering ist, gelangt nur ein geringer Teil der Prozeßflüssigkeit unmittelbar vom Zuführkanal 124 in den Abführkanal 128, ohne den Weg durch die Prozeßkammer 120 zu nehmen.

Im vorliegenden Fall ist durch die Gasdurchlaßöffnungen 130 eine praktisch vollständige Gasabfuhr von Prozeßgasen gewährleistet.

Obwohl wegen der wirkungsvollen Absaugung über die Gasdurchlaßöffnungen 130 an sich dazu keine Notwendigkeit besteht, ist es vorteilhaft, die Lanze 141 in umgekehrter Richtung, wie in Fig. 2 gezeigt, anzuordnen, so daß die Lanze 141 von oben in die Prozeßkammer 120 hineinragt.

Dies hat den Vorteil, daß Prozeßgase, die ja in der Prozeßflüssigkeit nach oben aufsteigen, sich nicht am oberen Ende des Hohlraums der Lanze 141 sammeln können, sondern nach oben abgeführt werden.

Eine weitere Variante einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in Fig. 4 dargestellt und insgesamt mit der Ziffer 200 bezeichnet.

Diese Ausführung ist insbesondere zur galvanischen Behandlung an Außenoberflächen von beispielsweise rotationssymmetrischen Werkstücken 212 geeignet.

Im dargestellten Fall handelt es sich beispielsweise um ein hohlzylindrisches Werkstück 212, in dessen Außenwand eine Ringnut vorgesehen ist, die die Behandlungsoberfläche 214 bildet.

Die Vorrichtung 200 weist ein erstes unteres Spannteil 216 und ein zweites oberes Spannteil 218 auf, die in Richtung des Doppelpfeiles 250 relativ zueinander beweglich sind. Dazwischen ist ein Mittelteil 224 vorgesehen, über das die Prozeßflüssigkeit zu- und abgeführt werden kann.

Zur Einspannung und Zentrierung des Werkstückes 212 ist ein oberer erster Zwischenring 220 vorgesehen, der mit dem oberen Spannteil 218 abschließt, sowie ein zweiter Zwischenring 222, der mit dem unteren Spannteil 216 abschließt. Beide Zwischenringe 220, 222 dienen unter anderem zur Zentrierung des Werkstückes 212.



Zwischen dem Mittelteil 224, dem oberen Zwischenring 220 und dem unteren Zwischenring 222 ist eine ringförmige Maske 226 aus Metall gehalten, die als Elektrode 240 über eine Anschlußleitung 242 beschaltet ist und die Behandlungsoberfläche 214 ringförmig umschließt. Die übrigen Teile bestehen aus isolierendem Material.

Die Prozeßflüssigkeit wird über eine Prozeßmittelzufuhr 244 in einen in der Maske 226 ausgebildeten ringförmigen Zuführverteilerkanal 233 zugeführt, gelangt dann über Zuführkanäle 232, die als radiale Schlitze ausgebildet sind, in die Prozeßkammer 230 und wird über benachbarte Abführkanäle 234 wieder aus der Prozeßkammer 230 abgeführt. Sie gelangt dann in einen ringförmig ausgebildeten Abführverteilerkanal 235 der Maske 226.

Der Abführverteilerkanal 235 ist über eine geeignete Anschlußleitung 246 zur Prozeßmittelabfuhr an eine Saugpumpe 248 angeschlossen, über die die Prozeßflüssigkeit im Kreislauf geführt wird.

Für den Fall der Eloxierung von Aluminium ist das Werkstück 212 über die Anschlußleitung 238 mit dem Pluspol einer Gleichspannungsquelle verbunden, während die Elektrode 240 über eine Anschlußleitung 242 mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle verbunden wird.

Auf die Darstellung von Dichtungen zur Abdichtung der Prozeßkammer wurde bei der Ausführung gemäß Fig. 4 aus Gründen der Übersichtlichkeit vollständig verzichtet.

In Fig. 5 ist eine alternativ ausgeführte Maske in der Aufsicht dargestellt und insgesamt mit der Ziffer 260 bezeichnet. Hieraus ist eine spezielle Winkelanordnung von Zuführ- und Abführkanälen 262, 264 in bezug auf die Behandlungsoberfläche 214 zu ersehen. Die Zuführkanäle 262 münden nämlich nicht rechtwinklig in die Prozeßkammer 230 ein, sondern münden in einem spitzen Winkel  $\alpha$  in bezug auf die Behandlungsoberfläche 214, der beispielsweise in der Größenordnung von  $60^\circ$  liegen kann.

Dagegen sind die Abführkanäle 264 etwa rechtwinklig von der Behandlungsoberfläche 214 weg geführt.

Durch diese Anordnung wird, wie in Fig. 5 durch Pfeile dargestellt, eine gewisse Drallwirkung der Behandlungsflüssigkeit erzielt, so daß diese aus den Zuführkanälen entlang der Behandlungsoberfläche 214 überwiegend in Tangentialrichtung austritt und kurz danach über die Abführkanäle 264 wieder in Radialrichtung von der Behandlungsoberfläche 214 weg geführt wird.

Durch eine solche Geometrie läßt sich die Gleichmäßigkeit der Behandlung insbesondere unter räumlich beengten Bedingungen, wie bei der Behandlung einer Außenringnut, verbessern.

Mit einer Ausführung gemäß Fig. 4 können beispielsweise etwa 100-1.000 Liter/Stunde an Behandlungsflüssigkeit durch die Prozeßkammer geleitet werden, wobei sich Reynoldszahlen von mehr als 5.000 einstellen können. Beispielsweise ein Hartverchromen kann z.B. bei  $70^\circ\text{C}$  mit  $80\text{-}200\text{ Amp/dm}^2$  durchgeführt werden.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur galvanischen Oberflächenbehandlung von Werkstücken, mit einer geschlossenen Prozeßkammer (20, 120, 230) zur Aufnahme eines Werkstückes (12, 112, 212), die mindestens eine Zuführöffnung (22, 122) für die Zufuhr von Prozeßflüssigkeit und mindestens eine Abführöffnung (26, 126) für die Abfuhr von Prozeßflüssigkeit aufweist, wobei mindestens eine mit einer Stromquelle verbindbare Elektrode (40, 140, 240) vorgesehen ist, und das Werkstück (12, 112, 212) als Gegenelektrode mit einer Stromquelle entgegengesetzter Polarität verbindbar ist, und mit Mitteln (248) zum Erzeugen einer Strömung der Prozeßflüssigkeit durch die Prozeßkammer (20, 120, 230) entlang einer zu behandelnden Behandlungsoberfläche (14, 114, 214) des Werkstücks (12, 112, 212), dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Zuführöffnungen (22, 122) und eine Mehrzahl von Abführöffnungen (26, 126) von der Behandlungsoberfläche (14, 114, 214) beabstandet angeordnet ist, wobei jeweils eine Abführöffnung (26, 126) und eine Zuführöffnung (22, 122) zueinander benachbart sind oder mehrere Gruppen von Abführöffnungen (26, 126) benachbart zu mehreren Gruppen von Zuführöffnungen (22, 122) angeordnet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (140) als Teil eines langgestreckten Hohlkörpers (141, 161) ausgebildet ist, und der mindestens einen Zuführkanal (124, 164, 165) sowie mindestens einen

Abführkanal (128, 166, 167) aufweist, und daß der Zuführkanal (124, 164, 165) eine Mehrzahl von Zuführöffnungen (122) aufweist, denen jeweils Abführöffnungen (126) am Abführkanal (128, 166, 167) zugeordnet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (140, 160) eine Trennwand zwischen einem Zuführkanal (124, 164, 165) und einem Abführkanal (128, 166, 167) bildet.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Zuführkanälen (124) und den Abführkanälen (128) Gasdurchlässe (130) gebildet sind.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlkörper (141) von einem Mantel (143) aus einem Isoliermaterial umschlossen ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß entlang einer Innenoberfläche (228) der Prozeßkammer (230) eine Mehrzahl von Abführ- und Zuführöffnungen jeweils abwechselnd nebeneinander angeordnet ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführöffnungen (22, 122) und die Abführöffnungen (26, 126) jeweils an der Mündung von zugeordneten Zuführ- (124, 164, 165, 232, 262) bzw. Abführkanälen (128, 166, 167, 234, 264) ausgebildet sind.

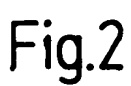
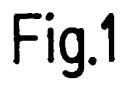
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführkanäle (232) mit mindestens einem Zuführverteilerkanal (233) in Verbindung stehen.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Abführkanäle (234) mit mindestens einem Abführverteilerkanal (235) in Verbindung stehen.
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Elektrode (140) außerhalb der Prozeßkammer in einem von den Zuführ- (122) bzw. Abführöffnungen (126) entfernten Bereich angeordnet ist.
11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Zuführkanäle (262) in bezug auf die Behandlungsoberfläche (214) in einem von  $90^\circ$  abweichenden Winkel  $\alpha$  ausmündet.
12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich zumindest ein Teil der Abführkanäle (264) in einem von zugeordneten Zuführkanälen (262) abweichenden Winkel von der Behandlungsoberfläche (214) weggeführt ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Abführkanäle (264) annähernd rechtwinklig von der Behandlungsoberfläche (214) weggeführt sind.

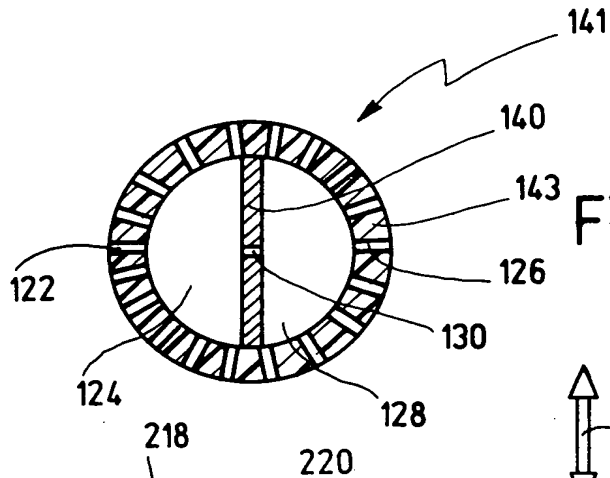
14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abführöffnungen (26, 126) und/oder die Zuführöffnungen (22, 122) kreisförmig, oval oder elliptisch ausgebildet sind.
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abführöffnungen (26) und/oder die Zuführöffnungen (22) schlitzförmig ausgebildet sind.
16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein erstes Spannteil (116, 216) und ein zweites Spannteil (118, 218) vorgesehen sind, die gegeneinander verspannbar sind, um das Werkstück (112, 212) in einem Hohlraum aufzunehmen und zusammen mit einer Werkstückfläche die Prozeßkammer (120, 230) zu bilden.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 - 16, gekennzeichnet durch eine eine zu behandelnde Außenoberfläche des Werkstückes (212) umschließende Maske (226), in der die Zuführ- und Abführkanäle (232, 234) ausgebildet sind, wobei die Prozeßkammer (230) zwischen einer Innenkontur 228 der Maske (226), der Außenoberfläche des Werkstücks (212) und den beiden Spannteilen (216, 218) gebildet ist.
18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Dichtmittel (146, 148) zur Abdichtung der Prozeßkammer (120) nach außen vorgesehen sind.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Erzeugen der Strömung eine Saugpumpe (248) aufweisen, die stromabwärts der Prozeßkammer (230) angeordnet ist.
20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Erzeugen der Strömung eine Druckpumpe aufweisen, die stromaufwärts der Prozeßkammer angeordnet ist.
21. Verfahren zur galvanischen Oberflächenbehandlung von Werkstücken (12, 112, 212) in einer geschlossenen Prozeßkammer (20, 120, 230), bei dem auf einer zu behandelnden Behandlungsoberfläche (14, 114, 214) des Werkstückes (12, 112, 212) ein Metallüberzug abgeschieden wird oder das Werkstück (12, 112, 212) an der Behandlungsoberfläche (14, 114, 214) anodisch oxidiert wird, mit folgenden Schritten:
  - Einspannen des Werkstückes (12, 112, 212) in einer Vorrichtung (10, 100, 200), um eine geschlossene Prozeßkammer (20, 120, 230) zu bilden, die von Prozeßflüssigkeit durchströmbar ist;
  - Kontaktieren des Werkstückes (12, 112, 212) und Verbinden mit einer Gleichspannungsquelle;
  - Anordnen mindestens einer Elektrode (40, 140, 240) im Abstand vom Werkstück (12, 112, 212) und Verbinden mit einem entgegengesetzten Pol der Gleichspannungsquelle;

- Zuführen der Prozeßflüssigkeit in die Prozeßkammer (20, 120, 230) über eine Mehrzahl von von der Behandlungsoberfläche (14, 114, 214) beabstandete Zuführöffnungen (22, 122);
- Abführen der Prozeßflüssigkeit aus der Prozeßkammer (20, 120, 230) über eine Mehrzahl von Abführöffnungen (26, 126), die jeweils den Zuführöffnungen (22, 122) benachbart sind oder wobei mehrere Gruppen von Abführöffnungen (26, 126) benachbart zu mehreren Gruppen von Zuführöffnungen (22, 122) angeordnet sind.







**Fig.3**

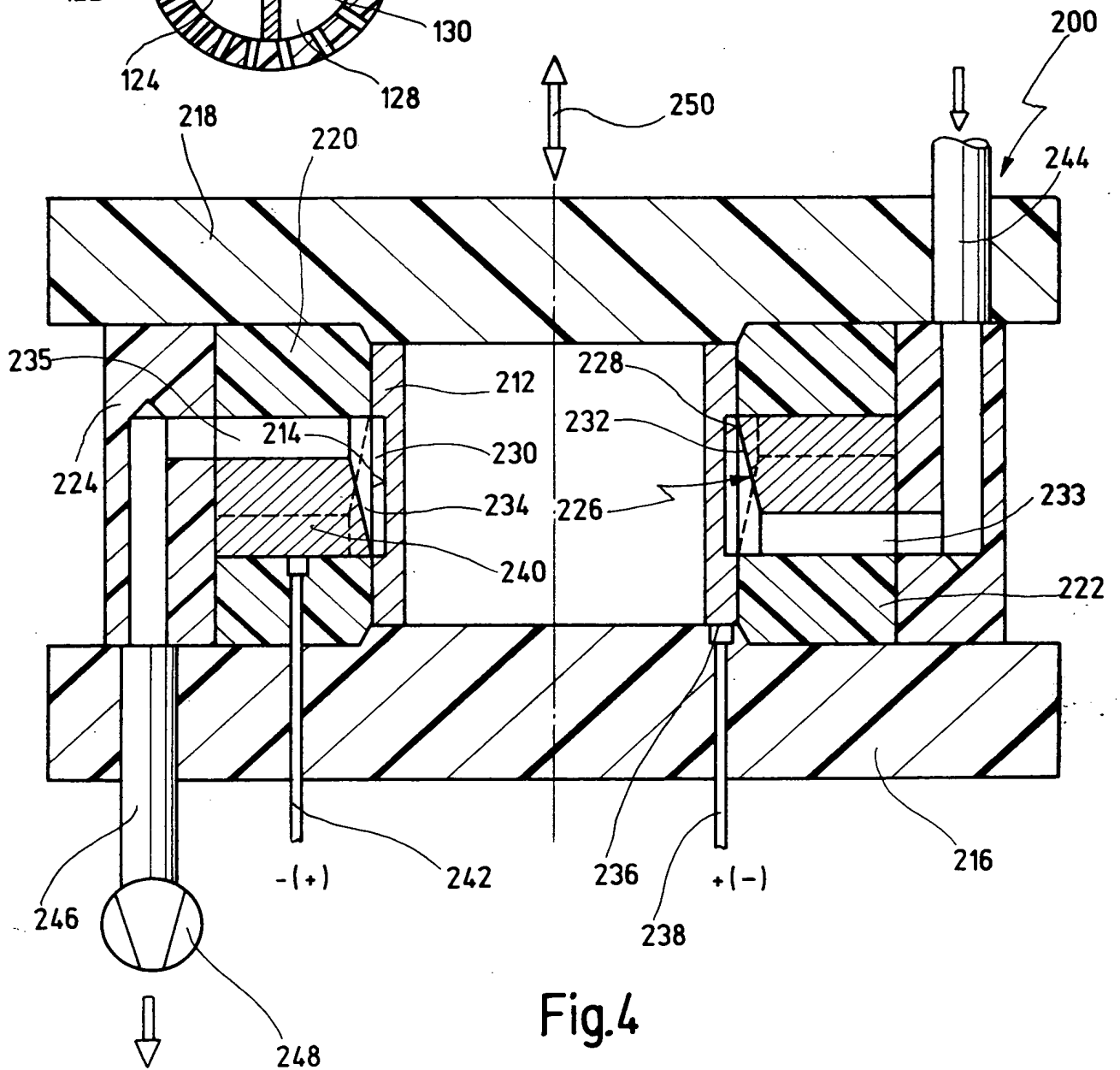


Fig.4

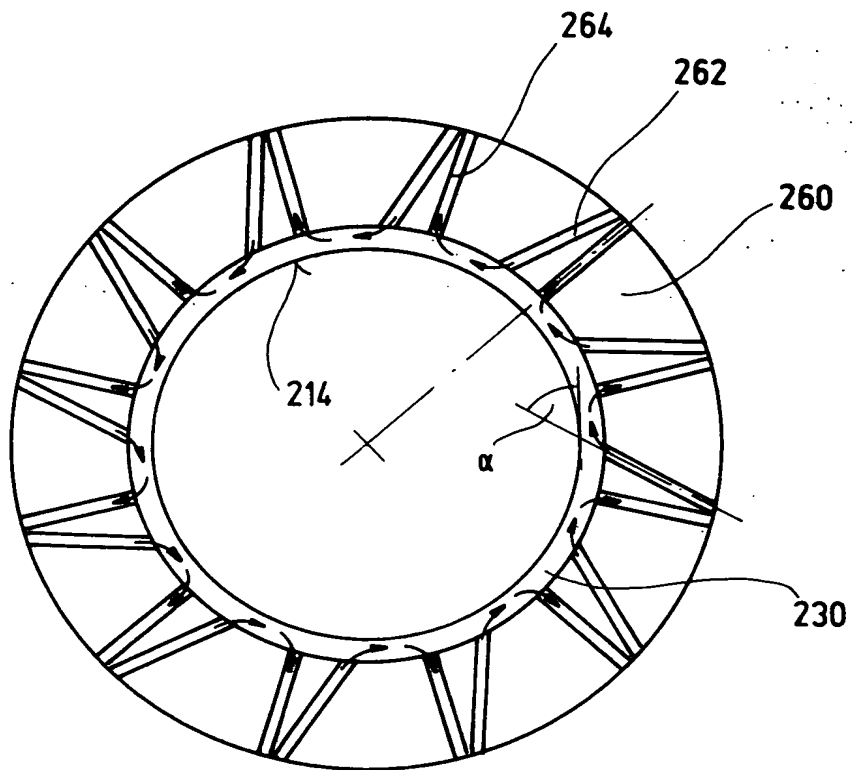


Fig.5